



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**KARAKTERISASI MATERIAL REFRAKTORI YANG DIGUNAKAN PADA
LINING TUNGKU INDUKSI PELEBURAN BAJA
PT SUYUTI SIDO MAJU CEPER KLATEN**

TUGAS AKHIR

**ADRIANSYAH SHOLEH RITONGA
L2E 006 006**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
DESEMBER 2010**

HALAMAN TUGAS SARJANA

Diberikan kepada : Nama : Adriansyah Sholeh Ritonga
NIM : L2E 006 006

Dosen Pembimbing : 1. Dr. Sri Nugroho, ST, MT
2. Yusuf Umardhani, ST, MT

Jangka Waktu : 6 Bulan (enam bulan)

Judul : Karakterisasi material refraktori yang digunakan pada *lining* tungku induksi peleburan baja PT. Suyuti Sido Maju Cepur Klaten

Isi Tugas : Mengetahui dan menganalisa komposisi kimia senyawa penyusun refraktori basa yang digunakan untuk *lining* tungku pengecoran baja serta pengaruh temperatur *sintering* terhadap densitas dan porositas dari material refraktori magnesita melalui pengujian komposisi kimia, pengujian densitas dan porositas serta pengujian mikrofografi.

Semarang, 22 Desember 2010

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Sri Nugroho, ST, MT
NIP. 197501181999031001




Yusuf Umardhani, ST, MT
NIP. 197008061998021001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : Adriansyah Sholeh Ritonga

NIM : L2E 006 006

Tanda Tangan : 

Tanggal : 22 Desember 2010


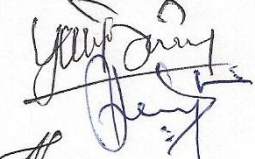
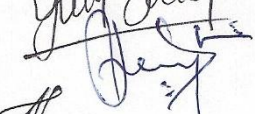

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

NAMA : Adriansyah Sholeh Ritonga
NIM : L2E 006 006
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Karakterisasi Material Refraktori yang Dgunakan pada *Lining* Tungku Induksi Peleburan Baja PT Suyuti Sido Maju Ceper Klaten.


Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Sri Nugroho, ST, MT ()
Pembimbing II : Yusuf Umardhani, ST, MT ()
Penguji : Ir. Bambang Yunianto, M.Sc ()
Penguji : Dr. Susilo Adi Widyanto, ST, MT ()

Semarang, 22 Desember 2010

Ketua
Jurusan Teknik Mesin,


Dr. Ir. Dipl Ing Berkah Fajar TK.
NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adriansyah Sholeh Ritonga
NIM : L2E 006 006
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“KARAKTERISASI MATERIAL REFRAKTORI YANG DIGUNAKAN PADA
LINING TUNGKU INDUKSI PELEBURAN BAJA PT SUYUTI SIDO MAJU
CEPER KLATEN”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 22 Desember 2010

Yang menyatakan


(Adriansyah Sholeh Ritonga)

ABSTRAK

Refraktori merupakan material yang biasanya digunakan pada dinding pelapis *lining* tungku induksi peleburan baja. Karena refraktori merupakan material yang tahan terhadap temperatur yang relatif tinggi dan mampu mengisolasi panas pada *lining* tungku induksi. Banyak dari industri peleburan baja tidak mengetahui karakteristik dari bahan refraktori yang mereka gunakan untuk melapisi dinding tungku induksi yang mereka gunakan untuk melebur baja. Mereka hanya membeli bahan refraktori sesuai dengan kebutuhan peleburan yang akan mereka lakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk dan ukuran butir, komposisi kimia, densitas dan porositas dari material refraktori yang digunakan pada *lining* tungku induksi peleburan baja PT. Suyuti Sido Maju Cepur Klaten. Penelitian yang dilakukan diantaranya adalah *meshing*, X-RD, dan proses *sintering*.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa ukuran butir dari bahan baku yang digunakan pada *lining* tungku peleburan baja adalah berukuran lebih besar dari 2 mm sampai dengan lebih kecil dari 0.025mm. bentuk butir untuk agregat besar adalah sub-rounded dan rounded. Komposisi kimia penyusun material refraktori agregat besar dan agregat kecil adalah periclase (MgO). Nilai densitas dan porositas pada temperatur sinter 1250⁰C, 1350⁰C, 1450⁰C adalah 3,05 g/cm³, 3,08 g/cm³, 3,12 g/cm³ untuk densitas dan 12,9 %, 11,6 %, 6,8 % untuk porositas.

Kata Kunci : Refraktori, MgO, *Meshing*, *Sintering*, XRD, Densitas, Porositas

ABSTRACT

Refractory is a material normally used in coating walls of steel smelting induction furnace linings. Because the refractory is a material that resistant to relatively high temperatures and is able to isolate the heat in induction furnace linings. Many of the steel smelting indstri not know the characteristics of refractory materials that they use for induction furnace lining which they use to melt steel. They just buy a refractory material according to the needs of fusion that they would do.

This study aims to determine the shape and grain size, chemical composition, density and porosity of refractory materials used in steel smelting induction furnace linings PT. Suyuti Sido Maju Ceper Klaten. Research conducted are meshing, X-RD, and sintering processes.

Results of the study showed that the grain size of the raw materials used in steel smelting furnace lining is larger than 2mm up to less than 0.025mm. Aggregate to form large grains are sub-rounded and rounded. The chemical composition of refractory material making up a large aggregate and small aggregate is periclase (MgO). The value of density and porosity at sintering temperature of 1250⁰C, 1350⁰C, 1450⁰C is 3.05 g/cm³, 3.08 g/cm³, 3.12 g/cm³ for the density and 12.9 %, 11.6 %, 6.8 % for porosity.

Keywords: Refractories, MgO, Meshing, Sintering, XRD, density, porosity

MOTTO

Sesali masa lalu karena ada kekecewaan dan kesalahan – kesalahan, tetapi jadikan penyesalan itu sebagai senjata untuk masa depan agar tidak terjadi kesalahan lagi.

Kemenangan yang indah – indahnyanya dan sesukar – sukarnya yang boleh direbut oleh manusia ialah menundukan diri sendiri.
(Ibu Kartini)

Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri. Dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap sesuatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya; dan sekali-kali tak ada pelindung bagi mereka selain Dia.
(AL Qur'an Surat Ar'd Ayat 11)

Apabila anda berbuat kebaikan kepada orang lain, maka anda telah berbuat baik terhadap diri sendiri.
(Benjamin Franklin)

Kegagalan hanya terjadi bila kita menyerah
(Lessing)

PERSEMBAHAN

Dengan Kerendahan Hatiku dan Dengan Bangga

Kupersembahkan Tugas Akhir ini Kepada :

“Kedua Orangtuaku Terkasih dan Tersayang”

Ayahanda Parulian Ritonga S.Pd dan Ibunda Rosderita Dongoran S.Pd

*Yang Telah Membesarkanku dan Mendidik Dengan Kasih Sayang
Memberikan Semuanya Dengan Keikhlasan yang Tak Ada Tandingannya
Dengan Keringat dan Air Mata Sampai Aku Bisa Seperti Saat Ini
Semoga Kalian Selalu Didalam Lindungan Allah SWT*

Adik-adikku Tersayang:

*Asrizal Dwiyansyah Ritonga dan Annisa Rizkialita Ritonga
Yang Telah Memberikan Semangat dan Kebahagiaan*

Semua Sahabat-Sahabatku ,

*Terimakasih atas Segala Inspirasi, Ilmu, Persahabatan dan Kasih Sayang
yang Selama ini Telah kita Jalani.*

PT. LGEIN INDONESIA

*Yang Telah Memberikan Bantuan dan Kesempatan Untuk Berkarir Setelah
Menyelesaikan Studiku*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, taufik, hidayah dan kekuatan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Tugas Akhir yang berjudul “ **Karakterisasi Material Refraktori yang Digunakan pada *Lining Tungku Induksi Peleburan Baja PT. Suyuti Sido Maju Cepher Klaten***” ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih setulus-tulusnya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan selama penyusunan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Bapak Dr. Sri Nugroho, ST, MT dan Bapak Yusuf Umardani, ST, MT selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan-masukan kepada penulis untuk menyusun Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK selaku ketua jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik universitas Diponegoro.
3. Bapak MSK. Toni Suryo Utomo, ST, MT selaku koordinator Tugas Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
4. Bapak Margono selaku teknisi Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Diponegoro atas nasehat dan bantuannya.
5. Kedua orang tuaku ayahanda Bapak Parulian Ritonga, S.pd dan Ibunda Rosderita Dongoran, S.Pd atas segala pengorbanan yang tidak terkira jasanya, yang telah memberikan dukungan, semangat, doa yang tulus ikhlas dan kepercayaan kepada penulis untuk mengemban amanah yang mulia ini.
6. Teman seperjuangan Yus Dwi Nofianto, Dwi Adi Waskito dan Dandi Rahadi.
7. Teman-teman seangkatan 2006 dan semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya Tugas Akhir ini.
8. Reffi Dwi Insani P.I terimakasih atas dukungan, semangat dan doa yang diberikan.

9. Semua pihak yang sudah membantu penyusun dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Dengan penuh kerendahan hati, penyusun menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang penyusun miliki sehingga tentu saja penyusunan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak demi kemajuan penulis untuk masa yang akan datang.

Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semakin menambah kecintaan dan rasa penghargaan kita terhadap Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

Semarang, Desember 2010

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Pembatasan Masalah	3
1.5. Metode Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II	
DASAR TEORI	6
2.1. Proses Peleburan Baja	6
2.2. Tungku Induksi	8
2.3. Refraktori	11

2.3.1. Refraktori Castable.....	12
2.3.2. Sifat-sifat Refraktori.....	13
2.3.3. Faktor-faktor yang Berpengaruh Pada Kekuatan Refraktori.....	15
2.3.4. Karakteristik Fisik dan Sifat-sifat Kimiawi Refraktori	16
2.3.5. Kerusakan Refraktori	18
2.3.5.1. <i>Slagging</i> dan <i>Spaling</i>	18
2.3.5.2. Pengikisan/abrasi	18
2.3.5.3. Pengkerutan (<i>shrinkage</i>)	19
2.4. Refraktori Basa (MgO)	19
2.5. Ikatan Kimia Refraktori MgO	21
2.6. Sintering.....	23
2.7. Karakteristik Material Refraktori Magnesia (MgO).....	25
2.7.1. Bentuk dan Ukuran Butir	25
2.7.2. Komposisi Kimia dengan XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	27
2.7.3. Densitas	31
2.7.4. Porositas	31

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1. Diagram Alir Proses Penelitian	33
3.1.1. Diagram Alir Proses Penelitian Tahap Pertama	33
3.1.2. Diagram Alir Proses Penelitian Tahap Kedua.....	34
3.2. Bahan Baku/Material Refraktori.....	36
3.3. Peralatan Yang Digunakan	37
3.3.1. Peralatan Yang Digunakan Pada Penelitian Tahap Pertama	37
3.3.2. Peralatan Yang Digunakan Pada Penelitian Tahap Kedua.....	39
3.4. Penyiapan Sampel dan Pembuatan Spesimen	44
3.4.1. Pemnyiapan Sampel	44
3.4.2. Pembuatan Spesimen.....	45
3.4.2.1. Pembuatan Spesimen Pengujian Tahap Pertama	45
3.4.2.2. Pembuatan Spesimen Pengujian Tahap Kedua.....	45
3.5. Karakterisasi Material.....	50

3.5.1. Karakterisasi Material Penelitian Tahap Pertama	50
3.5.1.1. Karakterisasi Bentuk dan Ukuran Butir	50
3.5.1.2. Karakterisasi Komposisi Kimia	51
3.5.2. Karakterisasi Material Penelitian Tahap Kedua	51
3.5.2.1. Karakterisasi Komposisi Kimia	51
3.5.2.2. Analisa Struktur Mikro	52
3.5.2.3. Karakterisasi Sifat Fisis	53
3.5.2.3.1. Analisis <i>Bulk Density</i>	53
3.5.2.3.2. Analisis <i>Apparent Porosity</i>	53
BAB IV	
HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1. Hasil Penelitian	55
4.1.1. Hasil Penelitian Tahap Pertama	55
4.1.1.1. Hasil <i>Meshing</i> Bahan Refraktori	55
4.1.1.2. Hasil X-RD Bahan baku	58
4.1.2. Hasil Penelitian Tahap Kedua	61
4.1.2.1. Hasil X-RD Pada Temperatur Sintering 1450 ⁰ C	61
4.1.2.2. Hasil Mikroskop Optik	63
4.1.2.3. Hasil Densitas	64
4.1.2.4. Hasil Porositas	64
4.2. Pembahasan	64
4.2.1. Pembahasan Hasil Penelitian Tahap Pertama	64
4.2.1.1. Bentuk dan Ukuran Butir	64
4.2.1.2. Analisa Komposisi Utama Penyusun Agregat Besar Dan Agregat Kecil	68
4.2.2. Pembahasan Hasil Penelitian Tahap Kedua	70
4.2.2.1. Analisa Komposisi Utama Setelah Proses Sintering 1450 ⁰ C	70
4.2.2.2. Analisa Densitas dan Porositas Material Refraktori Magnesia (MgO)	73
4.3. Hasil dan Analisa Material Refraktori Bongkaran Lining Tungku	

Induksi Peleburan Baja	78
4.3.1. Hasil X-RD Refraktori Bongkaran.....	78
4.3.2. Analisa Refraktori Bongkaran.....	82
BAB V	
KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1. Kesimpulan	83
5.2. Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Peleburan Baja.....	6
Gambar 2.2. Diagram Proses peleburan Baja	7
Gambar 2.3. Konsep Arus Induksi pada Tungku Induksi	9
Gambar 2.4. Gerakan Pengadukan pada Tungku Induksi	9
Gambar 2.5. Tungku Induksi	10
Gambar 2.6. Sel satuan Struktur Kristal <i>Rock Salt</i>	21
Gambar 2.7. Tabel Periodik	21
Gambar 2.6. Ikatan Ion MgO	20
Gambar 2.8. Mekanisme Proses <i>Sintering</i>	22
Gambar 2.9. Pengkategorian Bentuk Butir Berdasarkan Kebundaran	23
Gambar 2.10. Skema Instrumen <i>X-Ray Diffractometer</i>	25
Gambar 2.11. Prinsip Difraksi Sinar-X.....	26
Gambar 2.12. JCPDS Untuk MgO	27
Gambar 2.13. Pola Difraksi Sinar-X Untuk Magnesia (MgO)	28
Gambar 3. 1. Diagram Alir Proses Penelitian Tahap Pertama	33
Gambar 3. 2. Diagram Alir Proses Penelitian Tahap Kedua	35
Gambar 3. 3. <i>Mesh</i>	37
Gambar 3. 4. Mortar Tangan	37
Gambar 3. 5. Instrumen dan Spesifikasi X-RD (<i>X-Ray Diffractometer</i>) ...	38
Gambar 3. 6. Mikroskop Optik dan Kamera	39
Gambar 3. 7. Cetakan Spesimen	39
Gambar 3. 8. Mesin Kompresi/ <i>Compression Hydraulic Press</i>	40
Gambar 3. 9. Skema Temperatur <i>Sintering</i> untuk Temperatur 1400 °C	40
Gambar 3.10. tungku listrik/ <i>furnace</i>	41
Gambar 3.11. Mortar Tangan	41
Gambar 3.12. Instumen X-RD (<i>X-Ray Diffractometer</i>)	42
Gambar 3.13. Mesin Pemotong dan Penghalus batuan	42
Gambar 3.14. Mikroskop Optik dan Kamera	43
Gambar 3.15. Oven.	43

Gambar 3.16. Neraca Digital	44
Gambar 3.17. Gelas Ukur.....	44
Gambar 3.18. Alur Pembuatan Spesimen X-RD	45
Gambar 3.19. Alur Pembuatan Spesimen Awal	46
Gambar 3.20. Skema <i>Sintering</i> Temperatur 1200 ⁰ C	47
Gambar 3.21. Skema <i>Sintering</i> Temperatur 1300 ⁰ C	47
Gambar 3.22. Skema <i>Sintering</i> Temperatur 1400 ⁰ C	48
Gambar 3.23. Alur Pembuatan Spesimen X-RD	48
Gambar 3.24. Alur Pembuatan Spesimen Mikrografi	49
Gambar 3.25. Alur Pembuatan Spesimen Densitas dan Porositas	50
Gambar 4. 1. Butir Hasil Mesh 10 (Pembesaran 100x)	56
Gambar 4. 2. Butir Hasil Mesh 20 (Pembesaran 100x).....	56
Gambar 4. 3. Butir Hasil Mesh 100 (Pembesaran 100x)	56
Gambar 4. 4. Butir Hasil Mesh 200 (Pembesaran 100x).....	57
Gambar 4. 5. Butir Hasil Mesh 500 (Pembesaran 100x)	57
Gambar 4. 6. Butir Hasil Mesh 500 (Pembesaran 100x).....	57
Gambar 4. 7. Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffractory</i> Agregat Besar	58
Gambar 4. 8. Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffractory</i> Agregat Kecil	58
Gambar 4. 9. Hasil Pengujian <i>XRD</i> temperature Sintering 1450 ⁰ C	61
Gambar 4.10. Stuktur Mikro <i>Sintering</i> 1250 ⁰ C (Pembesaran 100x)	63
Gambar 4.11. Stuktur Mikro <i>Sintering</i> 1350 ⁰ C (Pembesaran 100x).....	63
Gambar 4.12. Stuktur Mikro <i>Sintering</i> 1450 ⁰ C (Pembesaran 100x)	63
Gambar 4.13. Kebundaran Bentuk Butiran	66
Gambar 4.14. Butir Refraktori Hasil <i>Mesh</i> 10 dan 20	67
Gambar 4.15. Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffractory</i> Agregat Besar.....	68
Gambar 4.16. Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffractory</i> Agregat Kecil.	68
Gambar 4.17. JCPDS Untuk MgO	69
Gambar 4.18. <i>X-Ray Diffraction Pattern</i> MgO	69
Gambar 4.19. Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> Proses Sintering 1450 ⁰ C	71
Gambar 4.20. Gabungan Pola Difraksi Senyawa Magnesia (MgO) Sebelum	

	Dan sesudah <i>Sintering</i> Hasil Pengujian X-RD	71
Gambar 4.21.	Grafik Hubungan Temperatur <i>Sintering</i> Terhadap Densitas	73
Gambar 4.22.	Grafik Hubungan Temperatur <i>Sintering</i> Terhadap Porositas	74
Gambar 4.23.	Grafik Hubungan Temperatur <i>Sintering</i> Terhadap Porositas dan Densitas	75
Gambar 4.24.	Struktur Mikro Material Refraktori Magnesia (MgO)	76
Gambar 4.25.	Hasil pengujian <i>X-Ray Diffractometer</i> Bongkaran Putih	78
Gambar 4.26.	Hasil pengujian <i>X-Ray Diffractometer</i> Bongkaran Hitam.....	79
Gambar 4.27.	Perbandingan Pola Difraksi Material Refraktori Sebelum <i>Sintering</i> dan Sesudah Penggunaan dalam Proses Peleburan Baja.....	82
Gambar 4.28.	Struktur Mikro Pada Refraktori Bongkaran Hitam	83
Gambar 4.29	Struktur Mikro Pada Refraktori Bongkaran Putih.....	83

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Komposisi dan Porositas Bahan Refraktori	17
Tabel 2.2. Sifat Fisik Beberapa Material Refraktori	17
Tabel 2.3. Tingkat Keasaman Beberapa Oksida	19
Tabel 2.4. Struktur Kristal Beberapa Keramik	19
Tabel 2.5. Hubungan Jenis Ikatan Material Refraktori Terhadap Titik Cair Dan Energi Ikatannya	20
Tabel 2.6. Kalsifikasi Ukuran Butir <i>Wentworth</i>	26
Tabel 3.1. <i>Sieve Size</i>	50
Tabel 4.1. Hasil <i>Meshing</i> Bahan Refraktori	55
Tabel 4.2. Data Senyawa Utama dan Senyawa Lain Penyusun Agregat Besar	58
Tabel 4.3. Data Senyawa Utama dan Senyawa Lain Penyusun Agregat Kecil	59
Tabel 4.4. Data Senyawa Utama dan Senyawa Lain Pada Temperatur <i>Sintering</i> 1450 ⁰ C	62
Tabel 4.5. Nilai Densitas	64
Tabel 4.6. Nilai Porositas	64
Tabel 4.7. Klasifikasi Ukuran Butir <i>Wentworth</i>	65
Tabel 4.8. Penggolongan Ukuran Butir Material Refraktori	66
Tabel 4.9. Data Senyawa Utama dan senyawa Lain Pada Refraktori Bongkaran Putih	80
Tabel 4.10. Data Senyawa Utama dan senyawa Lain Pada Refraktori Bongkaran Hitam	81